

СВАРОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ И НАПРЯЖЕНИЯ: НАБЛЮДЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ

Для изучения и наглядного представления процессов деформаций сварного шва и ОШЗ предлагается прибор для демонстрации деформаций, содержащий металлическую раму, в вырез которой без зазоров вставлен стальной стержень, имитирующий свариваемую кромку шва. В результате возникновения при нагреве стержня сжимающих этот стержень усилий, появляются пластические деформации укорочения стержня. В результате охлаждения стержень становится короче первоначальной длины и самопроизвольно выпадает из окна прибора, что наглядно показывает и убеждает исследователей в наличии продольной усадки свариваемых кромок еще на стадии нагрева при дуговой сварке конструкции. Остаточные сварочные напряжения в стыковых сварных соединениях определялись по усовершенствованной методике с использованием не механической, а лазерной резки сварного соединения на продольные полосы.

Ключевые слова: прибор, нагрев свариваемых кромок, сварочные деформации укорочения, остаточные напряжения, лазерная резка.

S. I. Kazakov, V. A. Goncharov

WELDING DEFORMATIONS AND TENSION – SUPERVISION AND MEASUREMENTS

For studying and evident representation of processes of deformations of a welded seam and OShZ the device for demonstration of deformations containing a metal frame into which cut without gaps the steel core imitating the welded seam edge is inserted is offered. As a result of emergence when heating a core of the efforts squeezing this core, there are plastic deformations of shortening of a core. As a result of cooling the core becomes shorter than initial length and spontaneously drops out of a device window that demonstrates and convinces researchers available of longitudinal shrinkage of the welded edges at a heating stage at arc welding of a design. Residual welding tension in butt welded connections was determined by an advanced technique with use not mechanical, but laser is sharp welded connection on longitudinal strips.

Keywords: the device, heating of the welded edges, welding deformations of shortening, residual tension, laser it is sharp.

До настоящего времени не существовало прибора или устройства, которое демонстрировало бы и подтверждало экспериментально факт

появления остаточных сварочных деформаций в результате процесса сварки плавлением. Понимание этого явления достигалось логическими рассуждениями о термомеханическом взаимодействии зоны металла свариваемой кромки и основного металла. Такая теоретическая модель приведена ниже [1]. Подтверждением правильности теоретической модели является экспериментальное определение остаточных сварочных напряжений (ОСН).

В процессе сварки шов и околошовная зона (ОШЗ) разогреваются до высоких температур, что вызывает их расширение. Менее нагретые части свариваемых деталей препятствуют свободному расширению, в результате возникают временные напряжения, приводящие к упругим, а затем и пластическим деформациям металла. Высокотемпературная зона составляет малую часть от поперечного сечения детали, и предел текучести материала этой зоны при нагреве снижается. Поэтому пластические деформации возникают главным образом в пределах нагретой зоны. Обычно она включает в себя кроме шва окружающий металл, температура нагрева которого превысила некоторый уровень T_T , зависящий от свойств металла (T_T повышается с ростом предела текучести). При сварке пластин из малоуглеродистой стали $T_T \approx 200\text{--}250\text{ }^\circ\text{C}$.

В процессе остывания часть возникших при нагреве пластических деформаций сохраняется, что приводит к искажению формы и размеров сварного соединения и к ОСН в сваренных деталях.

Для объяснения механизма образования основных видов сварочных деформаций и напряжений представим схематично сварное соединение состоящим из двух зон: активной («сварочного слитка», включающего в себя весь металл, нагретый при сварке до температуры выше T_T) и пассивной, препятствующей сначала расширению, а потом сокращению активной части (см. рис. 1, *а*).

При нагреве металл слитка расширяется (см. рис. 1, *б*), одновременно размягчаясь от нагрева. Расширение происходит в трех направлениях: вдоль осей OX , OY и OZ (светлые стрелки на рис. 1, *б*).

Расширению вдоль оси шва OX препятствуют монолитно скрепленные со слитком более холодные пассивные части. Расширению в поперечном направлении OY мешают закрепление свариваемых деталей в сварочных приспособлениях, прихватки, ранее наложенные швы и остывающий, уже заваренный участок данного шва. Возникающие при этом продольные и поперечные силы, действующие на активную часть со стороны пассивной, показаны темными стрелками на рис. 1, б. Под действием этих сил в металле слитка возникают временные напряжения сжатия по этим двум осям. В пассивной части детали при этом наблюдаются временные упругие напряжения растяжения в продольном направлении OX и сжатия в поперечном OY .

Наиболее свободно слиток расширяется в направлении толщины деталей OZ .

Значительные пластические деформации, сопровождающие такое неравноосное расширение, возможны потому, что в нагретом металле слитка понижен предел текучести.

При остывании слиток возвращается к своему первоначальному объему, одновременно восстанавливается исходный уровень σ_T материала слитка. Поэтому, несмотря на сопротивление пассивных частей сварного соединения, сокращение слитка идет более равномерно по всем направлениям (рис. 1, в).

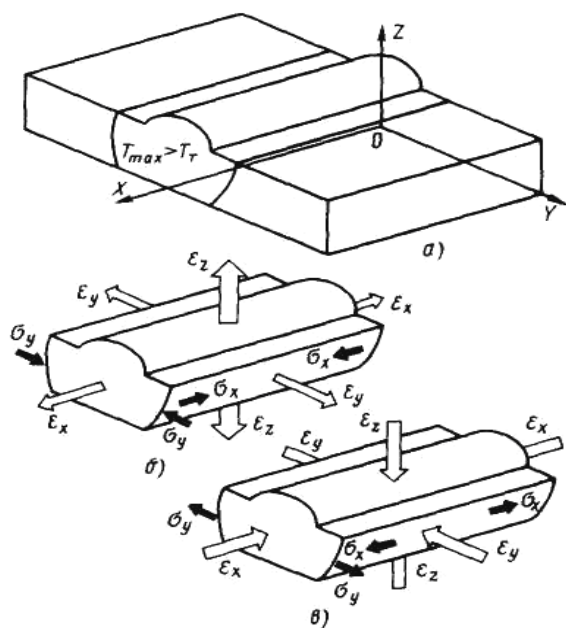


Рис. 1. Схема образования временных и остаточных сварочных деформаций и напряжений

В результате после сварки слиток, а вместе с ним и пассивные части сварного соединения становятся короче в направлении OX вдоль оси шва. Это явление называется продольной усадкой. В продольном направлении действуют ОСН: растягивающие в слитке и сжимающие в пассивной зоне.

Слиток и сварное соединение в целом испытывают в результате сварки также сокращение в поперечном направлении (поперечную усадку).

Существуют экспериментальные методы определения сварочных напряжений, деформаций и перемещений. Проще всего измерить перемещения на внешних поверхностях конструкций. Существуют датчики для измерения деформаций, наиболее распространены тензодатчики, но если деталь интенсивно нагревается, то замерять усилия и деформации с помощью наклеенных на эту деталь тензодатчиков некорректно.

Для изучения и наглядного представления процессов деформаций сварного шва и ОШЗ предлагается прибор для демонстрации деформаций, содержащий нагрузочный и упругий элементы (рис. 2).

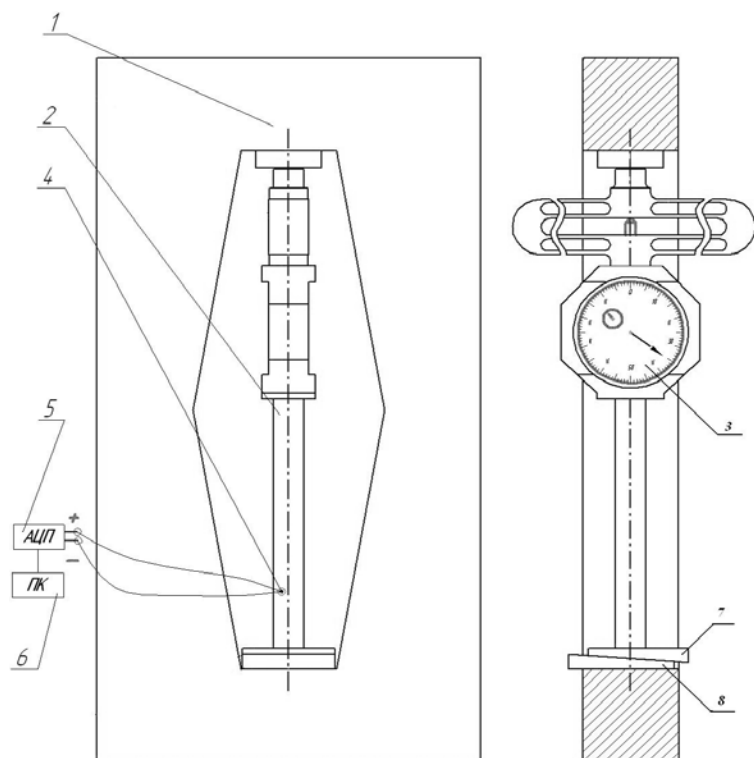


Рис. 2. Прибор для демонстрации деформаций при сварке: 1 – жесткая рама; 2 – нагреваемый стержень; 3 – динамометр; 4 – термопара; 5 – аналого цифровой преобразователь сигнала термопары; 6 – компьютер; 7 и 8 – клинья

Нагрузочный элемент 2, выполненный в виде стержня, расположен в жесткой раме 1 с вырезом, один конец стержня подведен к механическому

динамометру 3, а второй конец закреплен в раме клиньями 7 и 8, термopapa 4 соединена с аналого-цифровым преобразователем 5, выход которого соединен с компьютером 6.

Стержень, жестко закрепленный в окне рамы, нагреваемый в ходе эксперимента до температуры 650–700 °С и есть «сварочный слиток», имитирующий нагрев свариваемой кромки. Возникающие при нагреве стержня усилия давления на жесткую раму (на пассивный элемент) воспринимаются упругим элементом прибора – динамометром сжатия 3 и отражаются перемещением стрелки индикатора.

В результате возникновения при нагреве стержня сжимающих этот стержень усилий, появляются как упругие, так и пластические деформации укорочения стержня. Это явление аналогично пластическому укорочению свариваемой кромки на стадии ее нагрева. Пластическая деформация укорочения свариваемой кромки проявляется после полного охлаждения сварного соединения. Так и в результате нагрева и охлаждения стержня прибора, стержень становится короче первоначальной длины и при охлаждении самопроизвольно выпадает из окна прибора, что наглядно показывает и убеждает исследователей в наличии продольной усадки свариваемых кромок еще на стадии нагрева при дуговой сварке конструкции.

Результаты опытов с замерами первоначальной и окончательной длин стержня после охлаждения показывают его укорочение $\epsilon = 0,5\text{--}1,0\%$.

По результатам работ составлена заявка и получен в 2014 г. патент на полезную модель прибора для демонстрации деформаций при сварке [2].

Экспериментально определяли и остаточные сварочные напряжения в стыковом сварном соединении пластин из стали 10ХСНД толщиной 8 мм, сваренных односторонней дуговой сваркой под слоем флюса.

Экспериментальный метод механической резки стыкового соединения для определения одноосных остаточных продольных сварочных напряжений разработан профессором В.А. Винокуровым [3]. Механическая резка для уменьшения искажений поля остаточных напряжений должна выполняться

отрезными абразивными кругами с интенсивным охлаждением, при этом ширина реза составляет 2–3 мм.

В работе использован термический – лазерный способ резки на продольные полосы. Ширина реза была не более 0,4 мм с зоной термического влияния (ЗТВ) на кромке – 0,1 мм. Построенная эпюра продольных ОСН показала, что по оси шва растягивающие ОСН достигали 400 МПа при σ_T для стали 10ХСНД 390 МПа, ширина зоны растягивающих ОСН от оси шва составила 40 мм. Максимальная температура нагрева на расстоянии 40 мм от оси шва составила 150 °С. Вдали от шва сжимающие ОСН достигали значения 55 МПа. Полученные результаты распределения ОСН при лазерной резке укладываются в рамки существующих теорий, следовательно, можно судить о достоверности полученных результатов.

Выводы:

1. Создан прибор для демонстрации деформаций укорочения металла нагреваемого при сварке.
2. Эксперименты с помощью прибора наглядно показывают, что пластическая деформация укорочения свариваемых кромок появляется уже на стадии нагрева при сварке, а наблюдается эта деформация на стадии охлаждения и после полного остывания «сварочного слитка».
3. Остаточные сварочные напряжения в конструкции появляются как реакция сопротивления пассивной части (основного металла) пластическим деформациям укорочения металла шва и ОШЗ.
4. Лазерная резка позволяет оперативно и с достаточной точностью определять ОСН.

Список литературы

1. Сварка. Резка. Контроль : справочник. В 2 томах / под общ. ред. Н. П. Алешина, Г. Г. Чернышова. М. : Машиностроение, 2004. Т.1. 624 с.
2. Учебный прибор для демонстрации деформаций. Патент на полезную модель № 136621 Автор: Казаков С. И. (RU) Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей РФ 10 января 2014 г.
3. Винокуров В. А. Сварочные деформации и напряжения. М. : Машиностроение, 1968. 236 с.